Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 19, No. 2, May-June 2023, p. 279-290

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۹، شماره ۲، خرداد- تیر ۱۴۰۲ ص. ۲۹۰-۲۷۹

Homepage: http://ifstrj.um.ac.ir
Research Paper

# Investigating the Effect of Roasting Temperature and Storage Time of Hazelnut Seed on the Color and Quality of its Dough

S.H. Seyed Qavami[1], A. Nasrollah Zadeh[2*]

Received: 2021-11-07
Revised: 2021-12-23
Accepted: 2022-01-16
Available Online: 2022-05-15

**How to cite this article:**
Seyed Qavami, S.H., & Nasrollah Zadeh, A. (2023). Investigating the effect of roasting temperature and storage time of hazelnut seed on the color and quality of its dough. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *19*(2), 279-290. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.72914.1111

## Introduction

All the different species of hazelnut trees produce edible nuts. Hazelnuts are one of the most nutritious nuts, with a protein content of about 12%. They are also a good source of energy, with a fat content of about 60%, and an excellent source of carbohydrates, half of which are dietary fiber. Hazelnuts also contain minerals (Ca, Mg, P, K), vitamins (E and B), and antioxidants. Hazelnut kernels may be eaten raw or roasted. Roasting alters and significantly enhances the color, texture, and appearance of nuts. These changes increase the overall palatability of the nuts and are mainly related to non-enzymatic browning. Non-enzymatic browning, however, causes a decrease in nutritional value due to decrease in protein digestibility and loss of essential amino acids. The most widely used nut roasting method is the convective heat transfer process, which is performed in a hot air oven working either in continuous mode or in batch systems. Therefore, modifying this process for improving product quality is very important. Color is among the most important quality attributes of dehydrated foods for consumers. Empirically, color is also an effective quality indicator because the brown pigments increase as the browning and caramelization reactions progress. Therefore, this study aimed to investigate the effect of high roasting temperature and storage time on color changes and oxidation of hazelnut paste oil.

## Materials and Methods

After getting hazelnut kernels, the Roasting process was performed with hot air at 130 and 170 ℃ for 20 minutes. Hazelnut paste is produced as practiced in the industry. Quality analysis was roasted hazelnut paste color changes and fat oxidation. L *, a *, b * color index, (ΔE), acidity, and peroxide value were measured in three intervals (0, 10, 30 days'). All experiments were performed in three replications. Average Data was compared using one-way ANOVA and done by SPSS version 21.

## Results and Discussion

The main purpose of roasting is to improve the flavor, the color, and the crispy and crunchy texture of the product. The roasting process is very important to determine the characteristic roasted flavor and color of the product: in particular, temperature modulation is an important independent variable significantly affecting the quality features of hazelnut. In this study, ANOVA analysis results showed a significant difference between the treatments. Both roasting temperature and storage time affect the acidity and peroxide value. The increased temperature and storage increased the acidity and peroxide index, which indicated fat oxidation at higher temperatures. For ten days, the sample's peroxide value increased. After that, these parameters decreased because the first autoxidation products changing to the second product. Due to the release of free fatty acids after the basic hydrolysis of triglycerides, the acidity of the samples increased. The Browning color of roasted products was desirable. Discoloration during the roasting process of hazelnut kernels is mainly related to non-enzymatic browning. The brown pigments increase with the development of browning

1 and 2- Master's Student and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: azinnasr@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.2022.72914.1111

reactions. Results showed that the color index includes the L*, a*, b*, and ΔE values of the samples only affected by roasting temperature. With increasing the temperature, the L* value decreased but other values increased. Color indicators significantly changed and are not desirable for the consumers. The rate of color changes increased, including browning, indicating a non-enzymatic browning reaction in the samples during roasting.

## Conclusion

According to the results, hazelnuts roasted at 130℃ introduced as the best treatment. It is recommended that the storage time does not exceed ten days.

**Keywords:** Color changes, Hazelnut, Oxidation, Peroxide, Roasting

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 19, No. 2, May-June 2023, p. 279-290

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۹، شماره ۲، خرداد - تیر ۱۴۰۲ ص. ۲۹۰-۲۷۹

**مقاله پژوهشی**

# بررسی تاثیر دمای برشته کردن و زمان نگهداری دانه فندق بر رنگ و کیفیت خمیر آن

سید حسین سید قوامی[۱]- آذین نصرالله زاده [۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶

## چکیده

برشته کردن از جمله مراحل فرآوری مغزها، به منظور افزایش پذیرش کلی آن‌ها، بهبود طعم، رنگ، بافت و ظاهر محصول می‌باشد. بنابراین، بهینه‌سازی و اصلاح این فرآیند و بهبود کیفیت محصول از این طریق، بسیار با اهمیت است. این تحقیق با هدف بررسی تاثیر دمای بالای برشته کردن و مدت زمان نگهداری (روز ۱، ۱۰ و ۲۰) بر تغییرات رنگ و اکسیداسیون روغن خمیر فندق انجام شد. فرآیند برشته کردن فندق با هوای داغ در آون با دمای ۱۳۰°C و ۱۷۰ به مدت زمان ۲۰ دقیقه انجام شد. تغییرات رنگ فندق و اکسیداسیون چربی خمیر فندق برشته شده مطالعه شد. آزمون‌های کیفی تغییرات شاخص‌های رنگی شامل اندازه گیری شاخص *L، *a، *b، تغییرات کلی رنگ (ΔE)، همچنین اسیدیته و اندیس پراکسید تیمارها بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس ANOVA نشان داد، تفاوت آماری معنی‌دار بین تیمارها وجود داشت. با افزایش دما برشته کردن، شاخص‌های رنگی تغییر کردند و این تغییرات معنی‌دار در رنگ محصول از دیدگاه مصرف کننده مطلوب نیست. با افزایش دما، سرعت تغییرات رنگی از جمله قهوه‌ای شدن افزایش یافت که نشان‌دهنده ایجاد واکنش‌های قهوه‌ای شدن در نمونه‌ها طی برشته شدن بود. مدت زمان نگهداری تأثیر معناداری بر پارامترهای رنگی نداشت. دما برشته کردن و مدت زمان نگهداری باعث افزایش شاخص اسیدیته و پراکسید فندق شد که نشان دهنده اکسیداسیون چربی در دماهای بالاتر بود.

**واژه‌های کلیدی:** اکسیداسیون، برشته کردن، پراکسید، تغییرات رنگی، خمیر فندق

## مقدمه

فندق با تولید بیش از ۸۶۳ هزار تن در سال، رتبه سوم در بازار جهانی آجیل را دارد که به صورت خام، با یا بدون پوست به بازار عرضه می‌شود؛ به دلیل غلظت بالای ترکیبات زیست فعال ازجمله استرول‌ها، توکوفرول‌ها، اسیدهای فنولیک و فلاونول‌ها در فندق، به عنوان یک غذای فراسودمند[۳] بر چسب گذاری شده است (Król and Gantner, 2020). خواص اُرگانولپتیکی منحصر بفرد فندق سبب شده که ازجمله اجزاء مهم فرمولاسیون در بسیاری از محصولات غذایی مانند شکلات، اسنک‌ها، کیک، سالاد، لبنیات و ... بشمار آید. از طرفی، علاوه بر ارزش غذایی بالای فندق و فواید سلامتی‌بخش آن، طعم منحصر به فرد، متمایز و همچنین تُردی دلپذیری را به محصول می‌دهد. فندق غنی از ترکیبات مغذی شامل پروتئین‌ها، روغن، ویتامین‌ها و مواد معدنی است (Sarica *et al*., 2021). در میان ترکیبات مغذی، روغن از نظر کمی و کیفی مهم‌ترین ترکیب فندق است. میانگین محتوی روغن فندق ۶۰ ٪ است. بیشترین مقدار روغن فندق را اولئیک اسید تشکیل داده است که اثرات سلامتی‌بخش آن برای انسان ثابت شده است با این حال، فندق بسیار مستعد فساد است. در طول ذخیره‌سازی، بخش چربی می‌تواند تحت هیدرولیز و اکسیداسیون قرار گیرد، که منجر به بو و طعم نامطلوب و کاهش ارزش تغذیه‌ای آن می‌شود (Król *et* Ghirardello *et al*., 2017; *al*., 2019). مغز فندق ممکن است به صورت خام یا برشته شده مصرف شود. فرآیند حرارتی صنعتی به منظور حذف پوست مغز، کاهش رطوبت، ایجاد عطروطعم بهتر انجام می‌شود. ترکیبات مسئول

---

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: azinnasr@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.2022.72914.1111
3- Functional food

بوی مشخص فندق با روش بو دادن از پیش‌سازهای موجود در دانه خام طی تغییرات شیمایی و قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی تولید می‌شوند؛ همچنین برشته کردن، با غیرفعال کردن آنزیم‌ها و میکروارگانیسم های نامطلوب مدت ماندگاری فندق را افزایش می‌دهد (Yousefi *et al.*, 2021). خشکی و قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی علل اصلی تغییر بافت، ایجاد عطر و رنگ در غذاهای برشته شده است. قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی بین گروه کربونیل قندهای احیاء کننده و گروه آمینو آزاد آمینو اسیدها بدون بار یا پروتئین‌ها با از دست دادن یک مول آب رخ می‌دهد. انجام واکنش قهوه‌ای شدن وابسته به حرارت، فعالیت آبی ماده غذایی و همچنین عوامل ترکیبی (مانند نسبت قند و آمینو اسید و pH) است. بنابراین، کنترل دما و توزیع رطوبت برای طراحی فرآیند برشته کردن بسیار مهم است. متداول‌ترین روش برشته کردن مغز دانه‌ها استفاده از فرآیند حرارتی به صورت جابه‌جایی[1] است که بصورت مداوم یا بصورت بچ تحت زمان و دماهای مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور خاص، نوسانات دما به عنوان یک متغیر مستقل بطور قابل توجهی بر ویژگی‌های کیفی فندق تأثیر گذار است. مطالعات نشان داده که استفاده از هوای گرم سبب پایداری اکسیداتیو فندق برشته شده می‌شود (Tepe *et al.*, Lamberti *et al.*, 2021; 2020). ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از واکنش غیر آنزیمی طی فرآیند برشته کردن تشکیل می‌شوند و غیر فعال کردن آنزیم‌های تجزیه کننده چربی درون‌زا[2] برای محافظت از لیپیدها در برابر اکسیداسیون اتفاق می‌افتد. علاوه بر این، باید تأکید کرد که فندق منبع غنی از توکوفرول است که تا حد زیادی در عملیات حرارتی برشته کردن سالم می‌مانند. استفاده از یک فرآیند حرارتی مناسب سبب حفظ ساختار فندق و کاهش میزان تبخیر آب در مرحله اول خواهد شد، بنابراین منجر به کاهش تخریب در پایان فرآیند برشته می‌شود (Alamprese *et al.*, 2009). ساریکا (Sarica *et al.*, 2021)، طی بررسی تأثیر برشته شدن بر ویژگی‌های اکسیداسیون رقم فندق ترکی نشان دادند میزان آب و رطوبت فندق کاهش یافت در حالیکه شاخص *L و *b نمونه‌های فندق در حین برشته شدن افزایش می‌یابد. همچنین بینلو (Binello *et al.*, 2018)، نشان دادند که استفاده از آون جهت برشته کردن فندق ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آن را نسبت به سایر سیستم‌ها بهتر حفظ کرد. دهشتی و همکاران (Deheshti *et al.*, 2021) طی بررسی تأثیر دماهای مختلف برشته کردن با هوای داغ در دمای °C ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ و مدت زمان ۲۰، ۳۰ و ۵۰ دقیقه بر رنگ و اکسیداسیون روغن پسته نشان دادند با افزایش دما و مدت زمان برشته‌کردن، تغییرات معنی‌دار در شاخص‌های رنگی محصول نهایی ایجاد می‌شود. تا کنون تحقیق در داخل کشور بر خمیر فندق برشته شده منتشر نشده است بنابراین این مطالعه تعیین دمای بهینه برشته کردن خمیر فندق و مدت زمان نگهداری آن بر ویژگی‌های کیفی، به ویژه رنگ انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

**تهیه تیمارهای تحقیق:** نمونه‌های مغز فندق بطور تصادفی از شرکت زرین دانه اشکور (ایران) خریداری شدند. دانه‌های فندق حاوی ۱۵/۰۹٪ پروتئین، ۶۵/۶ ٪ چربی، ۰/۹ ٪ رطوبت بودند. پس از خنک شدن در دمای محیط، مغزهای برشته شده در سه دوره زمانی ۰، ۱۰ و ۲۰ روز نگهداری شدند. خمیر فندق به روش رایج در کارخانه به کمک دستگاه کره گیر آزمایشگاهی (پارس البرز- ایران) تهیه شد. برای این منظور، بعد از جدا کردن وپوست دانه‌ها، خشک شدند. سپس عمل برشته کردن و آنزیم‌بری فندق‌ها در آون (شیماز- ایران) با دماهای ۱۷۰ و ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. بعد از آسیاب شدن دانه‌ها برای انجام آزمون مورد استفاده قرار گرفتند (Radfer and Fatemi, 2003).

**استخراج روغن از خمیر فندق:** حدود ۵۰ گرم از نمونه همگن شده درون بشر ریخته و ۵۰ میلی‌لیتر محلول N– هگزان (Merck – آلمان) به آن اضافه شد و بخوبی تا حل شدن کامل چربی مخلوط شدند. سپس مخلوط صاف و حلال درون حمام آب (Jisio – کره) °C ۷۰ تبخیر شد. روغن بدست آمده برای انجام آزمون اسیدیته و پراکسید استفاده شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۱۵۸۱۳، ۱۳۹۷).

### آزمون‌ها

**آزمون عدد پراکسید:** ۵ گرم از نمونه روغن را توزین و ۳۰ میلی‌لیتر از محلول استیک اسید + کلروفرم (Merck – آلمان) که به نسبت ۳ به ۲ درست شده بود، به نمونه روغن اضافه شد. ۰/۵ میلی لیتر یدید پتاسیم اشباع (Sigma – آمریکا) به محلول اضافه و سپس به مدت ۱ دقیقه در تاریکی (کابینت تاریک) گذاشته شد. نهایتاً ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر را به محلول اضافه شدند و چند قطره چسب نشاسته (Merck – آلمان) ۵ ٪ بعنوان معرف به آن افزوده شد. محلول با سدیم تیوسولفات ۰/۱ نرمال (Merck – آلمان) عیارسنجی شد (Iranian Institute of Standards and Industrial Research, 2018):

رابطه (۱)

$$\text{عدد پراکسید} = \frac{(V2-V1)\times N\times 1000}{m}$$

که در آن:

---

1- Convective

2- Endogenous

$v_2$ = حجم تیوسولفات سدیم مصرفی برای نمونه / $v_1$، حجم تیوسولفات مصرفی برای شاهد / N = نرمالیته تیوسولفات مصرفی / m = وزن روغن مصرفی به گرم

**آزمون اسیدیته:** ابتدا ۵ گرم از روغن استخراج شده درون ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به آن ۵۰ میلی‌لیتر اتانول (Merck – آلمان) خنثی شده جوشان همراه با ۱ میلی‌لیتر معرف فنل الفتالئین (Merck – آلمان) اضافه شد. مخلوط حاصله با سود ۰/۱ نرمال (Merck – آلمان) تیتر شد. اسیدیته بر حسب اولئیک اسید گزارش شد (Iranian Institute of Standards and Industrial Research, 2019):

رابطه (۲) درصد اسیدیته روغن استخراجی = $\frac{v \times N \times 28.2 \times 100}{w}$

که در آن: v = حجم سدیم هیدروکسید مصرفی بر حسب میلی لیتر/ N = نرمالیته سدیم هیدروکسید مصرفی / w = وزن جربی استخراج شده به گرم

**رنگ‌سنجی:** جهت تعیین رنگ نمونه از دستگاه رنگ‌سنج هانتر لب استفاده شد و سه مولفه $a^*$ (قرمزی)، $b^*$ (زردی) و $L^*$ (روشنایی) اندازه‌گیری شد. توصیف تغییرات رنگ بین نمونه‌های فندقی برشته، کل تفاوت رنگی که به عنوان فاصله اقلیدسی (ΔE) بین تیمارهای فندق معروف است که از رابطه زیر محاسبه شد (Tepe *et al.*, 2020):

رابطه (۳) $\Delta E = ((\Delta a^*)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta L^*)^2)^{1/2}$

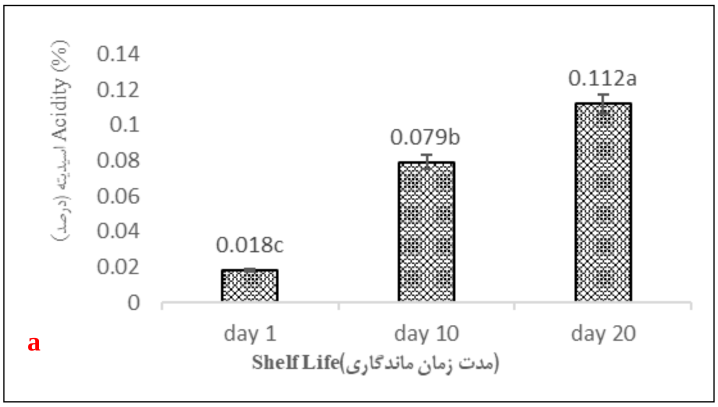
**تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها:** میانگین داده‌ها با استفاده از روش تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ مقایسه شدند. به منظور کاهش خطا کلیه آزمایشات در سه مرحله تکرار و سطح معنی داری ۵٪ انجام و همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ صورت پذیرفت.

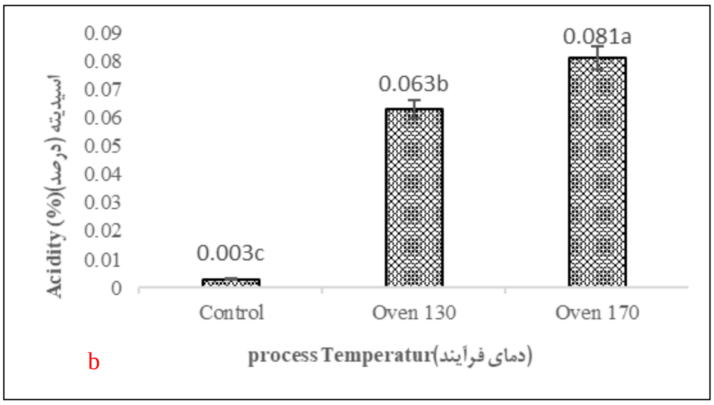
## نتایج و بحث

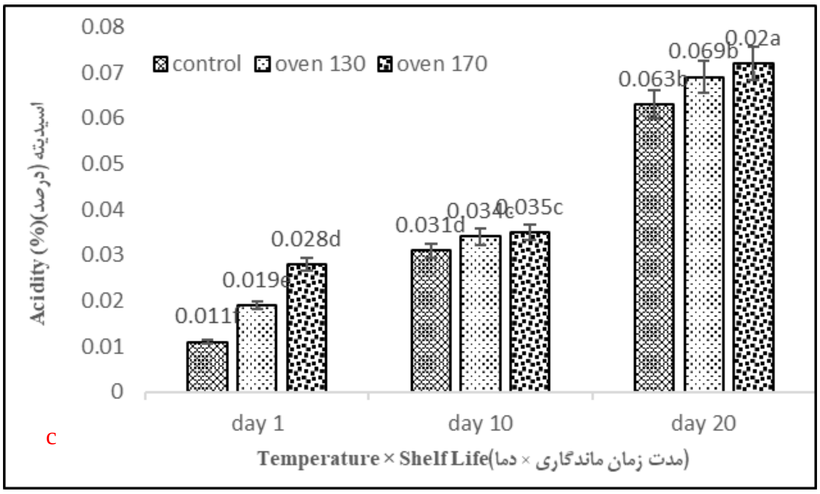
**بررسی اسیدیته تیمارها:** نتایج نشان می‌دهد تغییرات دما و زمان نگهداری و همچنین اثرات متقابل آن‌ها تغییرات معناداری بر میزان اسیدیته ایجاد می‌کند ($p<0.05$). بررسی روند تغییرات اسیدیته تیمارها با تغییرات درجه حرارت در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار با افزایش دمای برشته کردن از ۱۳۰ به ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، اسیدیته افزایش چشمگیری داشته و از ۰/۰۶۳ به ۰/۰۸۱ ٪ رسید ($p<0.05$). میزان اسیدیته کلی تیمارهای مورد بررسی نشان دهنده هیدرولیز ناچیز تری گلیسیریدها است (Budryn and Nebesny, 2013). افزایش اسیدیته را می‌توان به رهایی اسیدهای چرب آزاد پس از هیدرولیز اصلی تری گلیسیریدها، بعنوان اجزاء اصلی تشکیل دهنده روغن‌های گیاهی در اثر فعالیت آنزیمی دانه‌ها، نسبت داد (Belcadi-Haloui *et al.*, 2018). لیپاز و استراز سبب ایجاد واکنش‌های اکسیداسیونی آنزیم کاتالاز می‌شوند. این دو آنزیم اسیدهای چرب را از چربی جدا کرده و تولید اسیدهای چرب آزاد می‌نمایند، بنابراین اسیدهای چرب آزاد تشکیل شده می‌توانند سوبسترای واکنش‌های اکسیداسیون شوند. استراز نسبت به حرارت مقاوم بوده و ممکن است حتی پس از برشته کردن نیز فعال باقی بماند. برشته کردن اساساً باعث کاهش فعالیت لیپاز می‌شود (Soleimanieh *et al.*, 2015). همچنین تأثیر زمان افزایش اسیدیته را طی ۲۰ روز نشان داد ($p<0.05$). کمترین میزان اسیدیته مربوط به تیمار شاهد بود. اسیدیته تیمارها بطور قابل توجهی تحت تأثیر متقابل دمای برشته شدن و زمان نگهداری افزایش یافت ($p<0.05$). بیشترین میزان اسیدیته در تیمار برشته شده با آون در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد در روز ۲۰ آزمایش گزارش شد اما در روز ۲۰ آزمایش بین تیمار شاهد و برشته شده در آون با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معناداری گزارش نشد. علت این امر می‌تواند به دلیل غیر فعال شدن آنزیم لیپازی در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد. آنزیم‌های لیپیدی درست در زیر پوسته نازک دانه واقع شده‌اند و در سلول‌های صدمه ندیده نمی‌توان به چربی‌ها حمله کنند. اما از آنجایی که دماهای بالای برشته کردن سبب ایجاد تغییرات فیزیکی در سلول می‌شود و با توجه به مقاومت حرارتی بالای آنزیم استراز افزایش معنی‌داری در اسید چرب آزاد تیمارهای برشته شده در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید (Özdemir and Devres, 2000). چونگ (Chungj *et al.*, 2011) نیز نتایج مشابهی در ارتباط با افزایش میزان اسیدیته را در طول فرآیند برشته کردن دانه ذرت مشاهده کردند و علت این امر را احتمالاً به دلیل انجام واکنش‌های میلارد و ایجاد ترکیبات اسیدی از مواد قندی در طول واکنش‌های شیمیایی بیان کردند. اوزدمیر (Özdemir *et al.*, 2000) تأثیر دمای بالای برشته کردن بر اسیدهای چرب آزاد دانه فندق نشان دادند و علت آن را به دلیل حضور بیشتر محصولات ضد اکسایشی واکنش غیر آنزیمی قهوه‌ای شدن گزارش کردند.

**بررسی پراکسید تیمارها:** نتایج عدد پراکسید تیمارها در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش دما از ۱۳۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی گراد، میزان پراکسید تیمارها از ۰/۳۲۴ به ۰/۴۸۳ $meq/KgO_2$ افزایش چشمگیری نشان داد ($p<0.05$). روند افزایشی معنادار عدد پراکسید به تشکیل و تجمع هیدروپراکسیدها نسبت داده شده است. هیدروپراکسیدهای در نتیجه واکنش اتواکسیداسیون اجزای مغزها (به عنوان مثال اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها) هستند. افزایش این پارامتر

نشان دهنده کاهش کیفیت روغن بدست آمده است (Soleimanieh *et al.*, 2015). طبق گزارش اوزدمیر و همکاران (Özdemir *et al.*, 2000) بالا رفتن عدد پراکسید از ۲ $meq/KgO_2$ در روغن فندق برشته شده، سبب ظهور طعم تند شدن در روغن فندق می‌گردد.



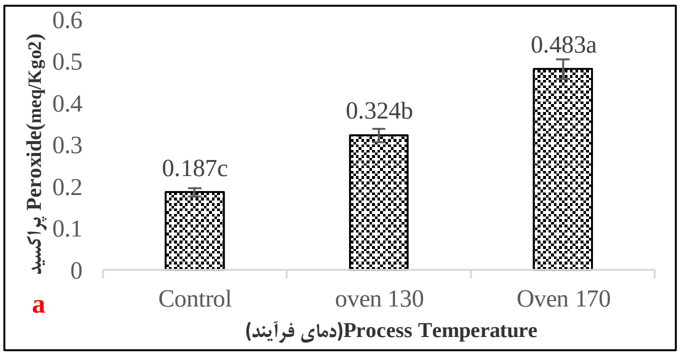



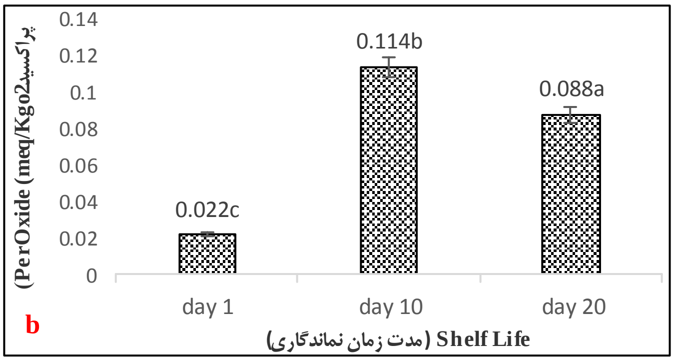

**شکل ۱- بررسی روند تغییرات اسیدیته تیمارها (a) تأثیر زمان، (b) تأثیر حرارت، (c) تأثیر متقابل حرارت × زمان**

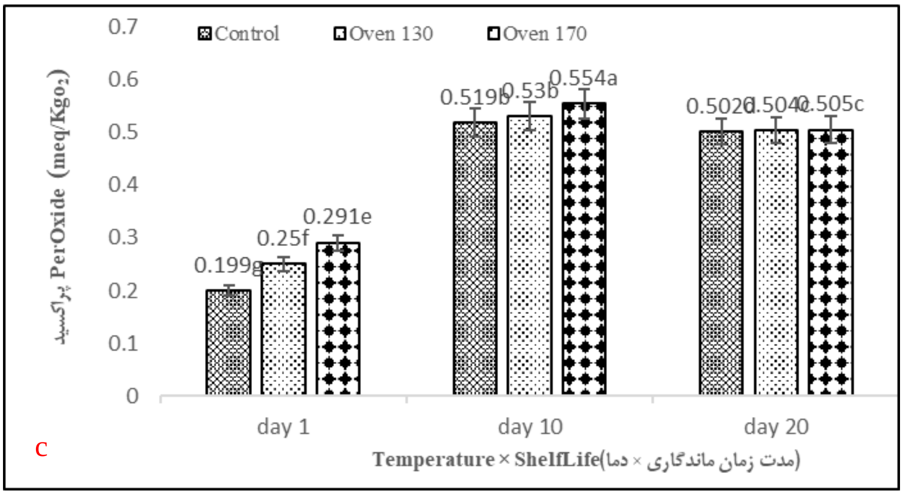
**Fig. 1- Examining changes in acidity of treatments (a) effect of time, (b) effect of heat, (c) interaction effect of heat x time**

در تمامی تیمارهای این تحقیق میزان عدد پراکسید کمتر از حد مذکور بود. روند تغییرات پراکسید تیمارها، طی ۲۰روز مدت زمان نگهداری، افزایش میزان پراکسید طی ۱۰ روز ( از ۰/۰۲۲ ٪ در روز اول به ۰/۱۱۴ ٪ در روز ۱۰) را نشان داد ($p<0.05$). اما از روز ۱۰ تا پایان زمان آزمایش روند کاهشی معنادار در میان پراکسید تیمارها مشاهده شد (کاهش از ۰/۱۱۴٪ به ۰/۰۸۸ ٪ در روز ۲۰) ($p<0.05$). پراکسیدها محصولات اولیه اتواکسیداسیون هستند و بعنوان شاخصی برای تعیین کیفیت و پایداری روغن‌ها محسوب می‌شوند. به این ترتیب که در ابتدا میزان پراکسیدها در روغن افزایش می‌یابد تا به حد بیشینه‌ای برسد، سپس این مقدار کاهش پیدا کرده زیرا این ترکیبات به محصولات دوم اتواکسیداسیون مثل آلدئیدها، کتون‌ها و دِی اِن‌های مزدوج تبدیل می‌شوند. این فرآورده‌ها (محصولات دوم اتواکسیداسیون) مسئول عطر و طعم تند در روغن هستند. بنابراین اندیس پراکسید پارامتری جهت اندازه‌گیری اکسیداسیون روغن‌ها در مراحل ابتدایی فساد اکسیداتیو است، یعنی خیلی قبل از اینکه بو و طعم نامطلوب قابل درک شده باشند. افزایش اندیس پراکسید به عنوان یک سیگنال خطر جهت پی بردن به اینکه اکسیداسیون در حال وقوع می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود (Moure *et al.*, 2001). کمترین میزان پراکسید در روز اول آزمون گزارش شد. اگر چه برشته کردن فعالیت لیپاز را کاهش داده و فعالیت پراکسیداز را تسهیل می‌کند، اما استرازها در برابر حرارت پایدار هستند و ممکن است حتی پس از برشته شدن نیز فعال باشند (Özdemir and Devres, 2000). گیراردلو (Ghirardello *et al.*, 2017)، افزایش میزان اندیس پراکسید در دانه‌های فندق برشته شده در طول زمان نگهداری را نشان دادند. همچنین الجحیمی (Al Juhaimi *et al.*, 2018) نیز

روند افزایشی عدد پراکسید در دو نمونه روغن فندق در طول مدت زمان نگهداری نشان دادند. نتایج تأثیر متقابل مدت زمان نگهداری و حرارت فرآیند برشته کردن بر پارامتر پراکسید از روز اول تا روز ۱۰ روند افزایشی معنادار و در روز ۲۰ روند کاهشی در عدد پراکسید تیمارها را نشان داد ($p<0.05$). بالاترین میزان پراکسید مربوط به تیمار برشته شده با آون با دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد در روز ۱۰ آزمایش بود. کاهش فعالیت آبی به دلیل فرآیند برشته کردن نیز منجر به افزایش اکسیداسیون می‌شود اما پراکسیدازها در برابر حرارت پایدار نیستند و با افزایش دما تجزیه می‌شوند (Das *et al.*, 2014). الجحیمی (Al Juhaimi *et al.*, 2018) شکستن پراکسیدها در مدت زمان نگهداری گردوهای برشته شده به دو روش مایکروویو و آون را نشان دادند.



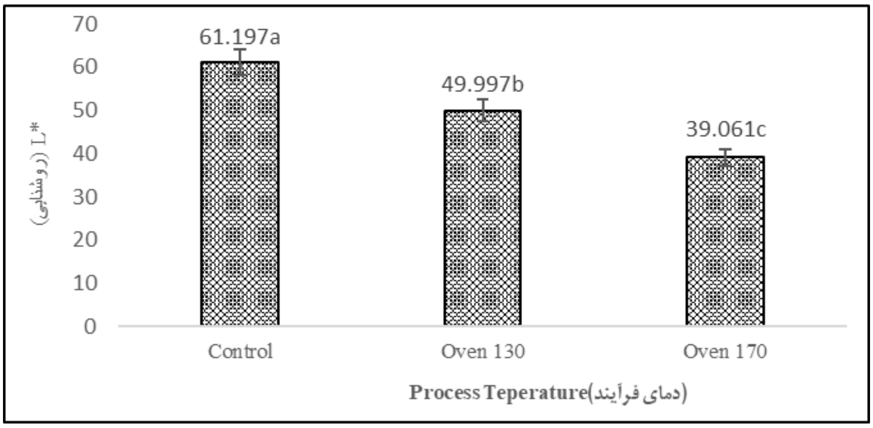

**شکل ۲- بررسی روند تغییرات پراکسید تیمارها (a) تأثیر زمان، (b) تأثیر حرارت، (c) تأثیر متقابل حرارت × زمان**

**Fig. 2- Examining changes in peroxide of treatments (a) effect of time, (b) effect of heat, (c) interaction effect of heat x time**

**بررسی رنگ‌سنجی تیمارها:** از جمله پارامترهای کیفیتی ماده غذایی، رنگ آن است که از طرف مصرف کننده برای قبول یا رد یک ماده غذایی به رنگ آن توجه می‌کند. قهوه‌ای شدن رنگ محصولات برشته شده مطلوب است. تغییر رنگ حین فرآیند برشته شدن دانه فندق بطور عمده مربوط به قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی است. رنگدانه های قهوه‌ای با پیشرفت واکنش‌های قهوه‌ای شدن افزایش می‌یابد. کنترل کیفیت محصولات بو داده بر اساس مشاهدات بصری است که توسط یک اپراتور برای تعیین سطح برشته شدن انجام می‌شود. این پارامتر به هر حال ذهنی است و انتخاب زمان مناسب برشته کردن فقط بر اساس این روش می‌تواند منجر به نقص طعم شود، بنابراین، دمای فرآیند برشته کردن از مهم‌ترین فاکتورهای موثر بر کیفیت دانه‌های برشته شده است (Donno *et al.*, 2013).

**شاخص روشنایی (*L) تیمارها:** مولفه *L نشان دهنده میزان روشنایی نمونه‌ها بوده و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغییر است. با افزایش دما از ۱۳۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد،

کاهش چشمگیری در روشنایی تیمارها (شکل ۳) مشاهده شد و میزان روشنایی از ۴۹/۹۹ به ۳۹/۰۶ کاهش یافت. بیشترین شاخص روشنایی مربوط به تیمار شاهد بود. کمترین میزان شاخص روشنایی (تیره‌ترین) مربوط به تیمار برشته شده با آون با دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد بود. کاهش شاخص روشنایی احتمالاً به دلیل تشکیل پیگمان‌های قهوه‌ای در طول واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی در فرآیند برشته کردن است. قندها و آمینو اسیدهای موجود در فندق در واکنش میلارد در طول فرآیند برشته کردن، شرکت می‌کنند. بنابراین مقدار ترکیبات قهوه‌ای متناسب با افزایش دمای فرآیند در خمیر فندق افزایش می یابد. از طرفی کاهش میزان رطوبت خمیر در طی فرآیند برشته کردن باعث تغییر قابلیت انعکاس نور شده و در نتیجه باعث تغییر رنگ فندق می‌شود (Bagheri *et al*., 2016). کهیااوغلو و همکاران (Kahyaoglu *et al*., 2006) نشان دادند که دما و زمان برشته کردن بر مولفه L* دانه کنجد تأثیر داشت. آن‌ها کاهش مولفه L* را به دلیل پایین بودن رطوبت و گزارش کردند. چانگ و همکاران ( Chung *et al*., 2011)، کاهش میزان روشنایی در طول فرآیند برشته شدن دانه‌های ذرت را نشان دادند و علت آن را به دلیل انجام واکنش‌های شیمیایی غیر آنزیمی در طول فرآیند برشته شدن گزارش کردند.

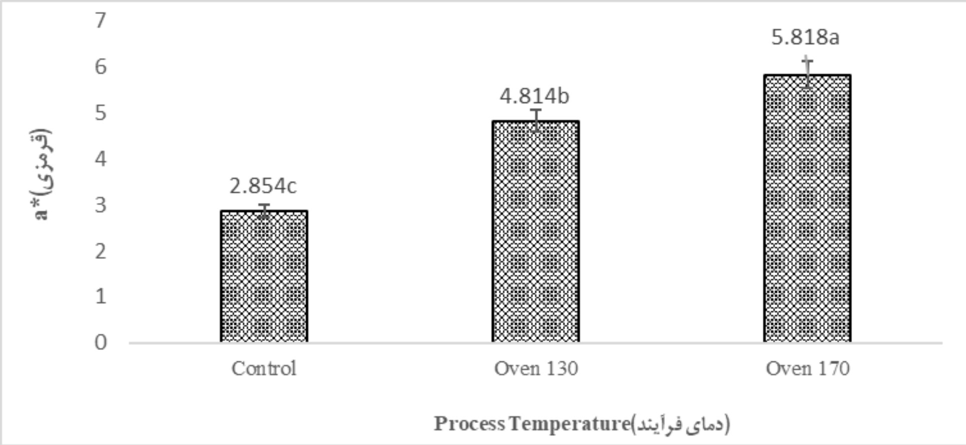



**شکل ۳- نتایج تأثیر دما بر شاخص روشنایی (L*) تیمارها**

**Fig. 3- The results of the effect of temperature on the lightness value (L*) of the treatments**

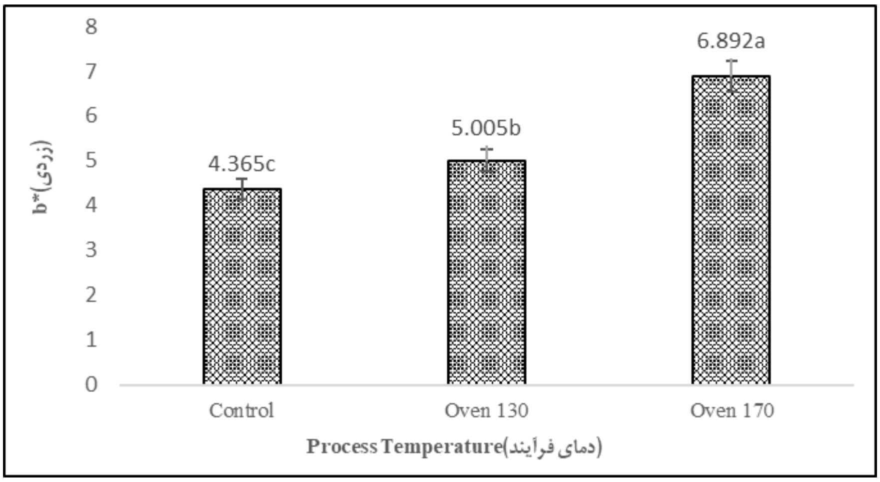
**شاخص قرمزی (a*) تیمارها:** شاخص a* (قرمزی- سبزی) در صورت مثبت بودن نشانگر شدت قرمزی بیش‌تر نمونه است. افزایش معنادار شدت قرمزی با افزایش دمای برشته کردن در شکل ۴ گزارش شد ($p<0.05$). با افزایش دما از ۱۳۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی گراد، میزان قرمزی از ۴/۸۱ به ۵/۸۱ افزایش یافت. بیشترین شاخص قرمزی مربوط به تیمار برشته شده با آون در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد بود. کمترین مقدار در تیمار شاهد گزارش شد. افزایش میزان مولفه a* احتمالاً مربوط به ترکیبات حاصل از واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد، کاراملیزاسیون و همچنین تخریب فسفولیپیدها می‌باشد. این بدان معناست که با افزایش دما میزان قرمزی تیمارها افزایش می‌یابد ( Bagheri *et al*., 2016; Kahyaoglu *et al*., 2006 ). بریچ و همکاران (Birch *et al*., 2010)، افزایش شاخص قرمزی در طول فرآیند برشته کردن ماکادمیا (فندق استرالیایی) را نشان دادند. اوزدمیر و همکاران (Özdemir *et al*., 2001)، نیز افزایش شاخص قرمزی در حین برشته کردن دانه‌های فندق خُرد شده را طی فرآیند برشته کردن نشان داد و علت آن را افزایش سرعت تشکیل رنگدانه‌های قهوه‌ای در واکنش میلارد بیان کردند.

**شاخص زردی (b*) تیمارها:** مثبت بودن مولفه b* (شاخص زرد- آبی) نشان دهنده زرد بودن نمونه است. اختلاف معنادار شاخص زردی در دماهای مختلف برشته کردن در شکل ۵ گزارش شد ($p<0.05$). با افزایش دما از ۱۳۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، و میزان زردی از ۵/۰۰ به ۶/۸۹ افزایش یافت. بیشترین شاخص زردی مربوط به تیمار برشته شده با آون در دمای۱۷۰ درجه سانتی‌گراد بود. افزایش مقادیر b* با افزایش دما و زمان برشته شدن ممکن است به دلیل اکسیداسیون حرارتی پلی‌فنول‌ها و همچنین تشکیل محصولات میلارد به دلیل واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی باشد (Bagheri *et al*., 2016). یهه و همکاران (Yeh *et al*., 2002) افزایش شاخص زردی کره بادام را طی فرآیند برشته کردن و سه ماه ماندگاری با افزایش دمای فرآیند برشته شدن نشان دادند. کهیااوغلو و همکاران (Kahyaoglu *et al*., 2006) نیز افزایش مولفه b* با افزایش دمای برشته کردن دانه کنجد را نشان دادند.




**شکل ٤- نتایج تأثیر دما بر شاخص قرمزی (a*) تیمارها**

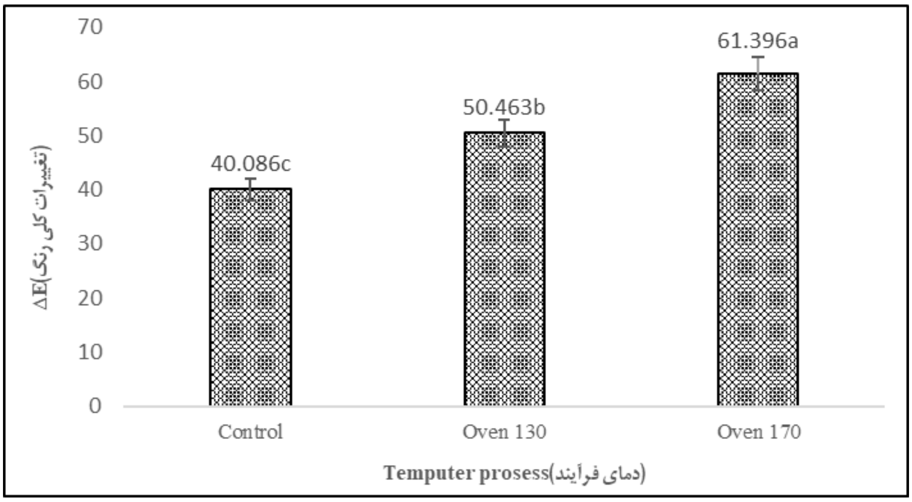
**Fig. 4- The results of the effect of temperature on the redness value (a*) of the treatments**




**شکل ٥- نتایج تأثیر دما بر شاخص زردی (b*) تیمارها**

**Fig. 5- The results of the effect of temperature on the yellowness value (b*) of the treatments**

**تغییرات کلی رنگ (ΔE) تیمارها:** مقدار ΔE نشان دهنده تفاوت کلی پارامترهای رنگی اندازه‌گیری شده رنگ بین نمونه خام و نمونه برشته شده است و می‌توان از آن به عنوان یک شاخص اصلی برای بررسی تغییرات رنگ در طی فرآیند برشته کردن استفاده نمود (Chung *et al.*, 2011). شکل ۶ نتایج تغییرات کلی رنگ افزایش تغییرات با افزایش دمای برشته شدن نشان داده است. با افزایش دما از ۱۳۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد. تغییرات کلی رنگ از ۵۰/۴۶۳ به ۶۱/۳۹۶ افزایش یافت. بیشترین تغییرات رنگی مربوط به تیمارهای برشته شده با آون در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد بود. کمترین مقدار در تیمار شاهد گزارش شد. افزایش مقدار ΔE در طی فرآیند برشته شدن ناشی از توسعه واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی در طی فرآیند برشته کردن می‌باشد. شروع واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی از واکنش میان گروه‌های آمین آزاد پروتئین و گروه هیدروکسیل گلوکوزیدی قندهای احیا کننده یا ترکیبات کربنیلی مثل آلدئیدها و کتون‌ها صورت می‌گیرد؛ در طی فرآیند برشته کردن مقدار ترکیبات آمینی و هیدروکسیلی زیاد شده و در نتیجه سرعت انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی افزایش می‌یابد (Ozdemir and Devres, 2000). بطورکلی در دماهای بالای ۱۰۰ °C عمدتاً مربوط به واکنش‌های غیرآنزیمی قهوه‌ای شدن است. چرا که در چنین دمای (۲۲۰-۱۱۰ درجه سانتی‌گراد) بیشتر آنزیم‌های مواد غذایی غیر فعال می‌شوند (Moss and Otten, 1989). چانگ و همکاران (Chung *et al.*, 2014) افزایش شدت تغییرات رنگ را با افزایش دما و زمان برشته شدن در دانه‌های ذرت نشان دادند.




**شکل ٦- نتایج تأثیر دما بر تغییرات کلی رنگ (ΔE) تیمارها**

**Fig. 6- The results of the effect of temperature on the General color changes (ΔE) of the treatments**

## نتیجه‌گیری

برشته کردن از جمله روش‌های بهبود طعم و رنگ مغزهای آجیل است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت با افزایش دما بسیاری از پارامترهای رنگی تغییر می‌کنند و تعدیل تغییرات رنگ خمیر فندق به شکل مطلوب، با مدیریت دمای بر شته کردن وجود دارد. کاهش مولفه *L و افزایش مولفه‌های *a، *b و ΔE با افزایش فرآیند حرارت‌دهی بر تیمارها گزارش شد، در حالیکه مدت زمان نگهداری طی ۲۰ روز تأثیر معناداری بر این مولفه‌ها نشان نداد. از طرفی افزایش معناداری در اسیدیته در حین برشته کردن دیده شد که نشان دهنده افزایش اکسیداسیون و تشکیل بیشتر رادیکال‌آزاد از تری‌گلیسیریدهاست. از طرف دیگر افزایش عدد پراکسید در روز اول نیز تأییدی بر اکسیداسیون ترکیبات اسیدی در خمیر فندق بوده هرچند این روند افزایش ادامه‌دار نبود که دلیل آن می‌تواند شکسته شدن پراکسیدها و تبدیل آن‌ها به محصولات ثانویه اکسیداسیون باشد که باز هم نشان دهنده روند هیدرولیز چربی‌ها در خمیر فندق خواهد بود. با توجه به نتایج تغییرات معنی‌دار در رنگ و کیفیت محصول نهایی ایجاد می‌شود که از دیدگاه مصرف کننده مطلوب نیست. بنابراین توصیه می‌شود به جهت حصول بالاترین کیفیت محصول نهایی، در حین برشته کردن فندق در دمای ۱۳۰ °C تجاوز نکند و فندق برشته شده حداکثر طی مدت ده روز مصرف گردد.

## منابع

1. Alamprese,C., Ratti, S., & Rossi, M. (2009). Effects of roasting conditions on hazelnut characteristics in a two-step process. *Journal of Food Engineering*, *95*(2), 272-279. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.05.001.
2. Al Juhaimi, F.A., Özcan, M.M., Uslu, N., & Doğu, S. (2017). Pecan walnut (*Carya illinoinensis* (Wangenh.) K. Koch) oil quality and phenolic compounds as affected by microwave and conventional roasting. *Journal of Food Science and Technology*, *54*, 4436-4441. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2921-0.
3. Bagheri, H., Kashaninejad, M., Ziaiifar, A.M., & Aalami, M. (2016). Novel hybridized infrared-hot air method for roasting of peanut kernels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *37*, 106-114. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.014.
4. Belcadi-Haloui, R., Zekhnini, A., El-Alem, Y., & Hatimi, A. (2018). Effects of roasting temperature and time on the chemical composition of argan oil. *International Journal of Food Science*. https://doi.org/10.1155/2018/7683041
5. Binello, A., Giorgis, M., Cena, C., Cravotto, G., Rotolo, L., Oliveri, P., & Casale, M. (2018). Chemical modifications of Tonda Gentile Trilobata hazelnut and derived processing products under different infrared and hot-air roasting conditions: a combined analytical study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*(12), 4561-4569. https://doi.org/10.1002/jsfa.8984
6. Birch, J., Yap, K., & Silcock, P. (2010). Compositional analysis and roasting behaviour of gevuina and macadamia nuts. *International Journal of Food Science & Technology*, *45*(1), 81-86. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02106.x

7. Budryn, G., & Nebesny, E. (2013). Effect of green and roasted coffee antioxidants on quality and shelf life of cookies and chocolates. *Journal of Food Processing and Preservation*, *37*(5), 835-845. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00710.x
8. Chung, H.S., Kim, J.K., Moon, K.D., & Youn, K.S. (2014). Changes in color parameters of corn kernels during roasting. *Food Science and Biotechnology*, *23*, 1829-1835. https://doi.org/10.1007/s10068-014-0250-x
9. Chung, H.S., Chung, S.K. & Youn, K.S. (2011). Effects of roasting temperature and time on bulk density, soluble solids, browning index and phenolic compounds of corn kernels. *Journal of Food Processing and Preservation*, *35*(6), 832-839. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00536.x
10. Das, I., Shah, N. G., & Kumar, G. (2014). Properties of walnut influenced by short time microwave treatment for disinfestation of insect infestation. *Journal of Stored Products Research*, *59*, 152-157. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.07.005
11. Deheshti, A., Hojjatoleslami, M., Jahanbakhsh, N., & Shakir Ardakan, A. 2021. The effect of different roasting temperatures on the color and oxidation of pistachio oil and their kinetics. *Journal of Food Industry Engineering Research*, *19*(1), 104-91. (In Persian). https://doi.org/10.22092/FOODER.2018.121713.1144
12. Donno, D., Beccaro, G.L., Mellano, M.G., Di PriMa, S., Cavicchioli, M., Cerutti, A.K., & Bounous, G. (2013). Setting a protocol for hazelnut roasting using sensory and colorimetric analysis: Influence of the roasting temperature on the hazelnut quality Tonda Gentile delle Langhe cv. *Czech Journal of Food Sciences*, *31*(4), 390-400. https://doi.org/10.17221/390/2012-CJFS
13. Ghirardello, D., Contessa, C., Valentini, N., Zeppa, G., Rolle, L., Gerbi, V., & Botta, R. (2013). Effect of storage conditions on chemical and physical characteristics of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 81, 37-43. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.014
14. Iranian Institute of Standards and Industrial Research. (2018). Animal and vegetable fats and oils -Determination of peroxide value -Iodometric (visual) endpoint determination. No 4179. 2st. Revision. (In Persian)
15. Iranian Institute of Standards and Industrial Research. (2019). Hazelnut Butter-Specifications and test methods. No10813. 1st. Edition. (In Persian)
16. Kahyaoglu, T., & Kaya, S. (2006). Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. *Journal of Food Engineering*, *75*(2), 167-177. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.011
17. Król, K., Gantner, M., & Piotrowska, A. (2019). Morphological traits, kernel composition and sensory evaluation of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars grown in Poland. *Agronomy*, *9*(11), 703. https://doi.org/10.3390/agronomy9110703
18. Król, K., & Gantner, M. (2020). Morphological traits and chemical composition of hazelnut from different geographical origins: A review. *Agriculture*, *10*(9), 375. https://doi.org/10.3390/agriculture10090375
19. Lamberti, C., Nebbia, S., Antoniazzi, S., Cirrincione, S., Marengo, E., Manfredi, M., & Cavallarin, L. (2021). Effect of hot air and infrared roasting on hazelnut allergenicity. *Food Chemistry*, 342, 128174. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128174
20. Moss, J.R., & Otten, L. (1989). A relationship between colour development and moisture content during roasting of peanuts. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, *22*(1), 34-39. https://doi.org/10.1016/S0315-5463(89)70298-4
21. Moure, A., Cruz, J. M., Franco, D., Domínguez, J. M., Sineiro, J., Domínguez, H., & Parajó, J.C. (2001). Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry*, *72*(2), 145-171. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00223-5
22. Özdemir, M., & Devres, O. (2000). Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, *45*(1), 17-24. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00036-4
23. Özdemir, M., Açkurt, F., Yildiz, M., Biringen, G., Gürcan, T., & Löker, M. (2001). Effect of roasting on some nutrients of hazelnuts (*Corylus avellena* L.). *Food Chemistry*, *73*(2), 185-190. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00260-0
24. Radfer, R., & Fatemi, H. (2003). Investigation of suitable roasting conditions to prevent oxidation of hazelnut and peanut oil. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *34*(1), 205-199. (In Persian)
25. Sarica, E., Kiralan, M., & Eren, Ö. (2021). Impact of roasting on oxidation characteristics of less well-known hazelnut cultivar: Turkish hazelnut (*Corylus colurna*). *RIVISTA ITALIANA DELLE SOSTANZE GRASSE*, *98*(2), 115-124.
26. Soleimanieh, S.M., Eshaghi, M., & Vanak, Z.P. (2015). The effect of roasting method and conditions on physic chemicals and sensory properties of sunflower seed kernels. *Int Journal Bioscience*, *6*, 7-17. http://doi.org/10.12692/ijb/6.7.7-17

27. Tepe, Y., Çebi, A., & Aydin, H. (2020). Acrylamide content and color formation of hazelnuts roasted at different processing temperatures and times. *European Food Research and Technology*, *246*, 1543-1549. https://doi.org/10.1007/s00217-020-03508-w
28. Yeh, J.Y., Phillips, R.D., Resurreccion, A.V., & Hung, Y.C. (2002). Physicochemical and sensory characteristic changes in fortified peanut spreads after 3 months of storage at different temperatures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(8), 2377-2384. https://doi.org/10.1021/jf011258r
29. Yousefi, Z., Rezaeigolestani, M., & Moghtader, G.J. (2021). Effect of Processing Temperature on Storage Quality of In-Shell Hazelnut. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, https://doi.org/10.18502/jfqhc.8.1.5459